

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA METALURGIE A MATERIÁLOVÉHO INŽENÝRSTVÍ
KATEDRA MATERIÁLU A TECHNOLOGIÍ PRO AUTOMOBILY



Návrh metodiky skenování tvarově složitých dílů

SCAN-DESIGN METHODOLOGY OF SHAPE COMPLICATED PARTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE:

FILIP HUVAR

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. VLADIMÍR ZBOŽÍNEK

SUPERVISOR

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra materiálů a technologií pro automobily

Zadání bakalářské práce

Student: **Filip Huvar**
Studijní program: B3923 Materiálové inženýrství
Studijní obor: 3911R034 Materiály a technologie pro automobilový průmysl
Téma: **Návrh metodiky skenování tvarově složitých dílů**
Scan-design methodology of shape complicated parts

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor problematiky.
2. Popis zařízení a příslušenství pro 3D skenování.
3. Návrh metodiky skenování tvarově složitých dílů
4. Shrnutí dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. WILLS, Linda a Philip NEWCOMB. Reverse engineering. Boston: Kluwer Academic Publishers, c1996, 178 p. ISBN 0792397568-.
2. RAJA, V, FERNANDEZ, K.J. Reverse Engineering: An Industrial Perspective (Springer Series in Advanced Manufacturing). 242pages. Springer: (2008). ISBN 978-1-84628-855-5
3. TIŠNOVSKÝ, PAVEL. Bezkontaktní digitalizace předmětů pomocí 3D scanneru Minolta Vivid VI-700. Elektrevue, 2003, roč. 2003, č. 13, s. 1-25, ISSN 1213-1539.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Vladimír Zbožinek**

Datum zadání: 30.11.2015

Datum odevzdání: 29.04.2016

doc. Ing. Petr Tomčík, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka fakulty

Zásady pro vypracování bakalářské práce

I.

Bakalářskou prací (dále jen BP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopnosti využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

II.

Uspořádání bakalářské práce:

- | | |
|--|------------------------------|
| 1. Titulní list | 6. Obsah BP |
| 2. Originál zadání BP | 7. Textová část BP |
| 3. Zásady pro vypracování BP | 8. Seznam použité literatury |
| 4. Prohlášení + místopřísežné prohlášení | 9. Přílohy |
| 5. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky | |

ad 1) Titulní list je koncipován podle požadavků příslušné oborové katedry.

ad 2) Originál zadání BP obdrží student na oborové katedře.

ad 3) Tyto „Zásady pro vypracování bakalářské práce“ následují za originálem zadání BP. („Zásady pro vypracování bakalářské práce“ jsou ke stažení na webových stránkách fakulty).

ad 4) Prohlášení + místopřísežné prohlášení napsané na zvláštním listu (ke stažení na webových stránkách fakulty) a vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání BP. V případě, že BP vychází ze spolupráce s jinými právníckými a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listě vloženo prohlášení spolupracující právnícké nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním BP.

ad 5) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listu česky a anglicky v rozsahu max. 1 strany pro obě jazykové verze.

ad 6) Obsah BP se uvádí na zvláštním listu. Zahrnuje názvy všech číslovaných kapitol, podkapitol a statí textové části BP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury, s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.

ad 7) Textová část BP obvykle zahrnuje:

- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním BP;
 - Vlastní rozpracování BP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry, vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
 - Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků BP z hlediska stanoveného zadání.
- BP nemusí obsahovat experimentální (aplikační) část.

BP bude zpracována v rozsahu min. 25 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury). V případě, kdy zadání BP vychází ze spolupráce se subjekty mimo VŠB -TU Ostrava a řešení studenta, týkající se citlivých dat spolupracujícího subjektu, je zpracováno v samostatné zprávě, tak zveřejněná část BP bude zpracována v rozsahu min. 15 stran a celkový rozsah BP bude min. 25 stran.

Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého nelesklého papíru formátu A4 při respektování následující doporučené úpravy - písmo Times New Roman 12b; řádkování 1,5; okraje – horní, dolní – 2,5 cm, levý – 3 cm, pravý 2 cm, zarovnání do bloku.

Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na ně být v textu poukázáno. Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 9). Odborná terminologie práce musí odpovídat platným normám. Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost. Matematické vzorce musí být číslovány (v kulatých závorkách). U vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen - u literatury citován číselným odkazem (v hranatých závorkách) na seznam použité literatury

Nedostatky ve způsobu vyjadřování, nedostatky gramatické, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

ad 8) BP bude obsahovat alespoň 10 literárních odkazů, z toho nejméně 3 v některém ze světových jazyků. Seznam použité literatury se píše na zvláštním listě. Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690. Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu BP.

ad 9) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně včlenit do vlastní textové části, např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

III.

Bakalářskou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

nahore: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra

uprostřed: *BAKALÁŘSKÁ PRÁCE*


dole: *Rok* *Jméno a příjmení*

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní práci také v elektronické formě do IS EDISON. Práce vložená v elektronické formě do IS EDISON se musí zcela shodovat s prací odevzdanou v tištěné formě. Po vložení BP do IS EDISON bude provedena její kontrola na plagiátorství.

IV.

Nesplnění výše uvedených zásad pro vypracování bakalářské práce může být důvodem nepřijetí práce k obhajobě. O nepřijetí práce k obhajobě rozhoduje v tomto případě garant příslušného studijního oboru. Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem bakalářského studia Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2015/2016.

Ostrava 2. 11. 2015


Prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství
VŠB-TU Ostrava


PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního (§60 – školní dílo);
- беру на вѣдомі, же Высoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude archivována v elektronické formě v databázi Ústřední knihovny VŠB – TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- беру на вѣдомі, же оdevzdáním své bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (Zákon o vysokých školách) bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval samostatně.

V Ostravě 29. 4. 2016



.....

FILIP HUVAR

ABSTRAKT

Tato práce pojednává o skenování tvarově složitých objektů. V první části práce se zabývá teoretickým rozbořem 3D skenování, rozdělením 3D skenerů a metodami digitalizace. V další části se pojednává o konkrétním příslušenství ke skenování. Jedná se o skenery Artec EVA a systém ScanReference. Následuje část věnovaná praktické stránce práce. Popisuje průběh skenování crash rámu automobilu SCX III a následnou úpravu dat v CAD softwaru. V závěru práce jsou shrnuty výsledky skenování, také jsou zde zmíněny a řešeny problémy pojící se skenováním tvarově složitých objektů.

KLÍČOVÁ SLOVA: 3D skenování, reverzní inženýrství, digitalizace, tvarově složité objekty

ABSTRACT

This thesis deals with scanning shape complicated parts. The first part deals with theoretical analysis of 3D scanning, distribution of 3D scanners and focus on methodology of digitalization. The next section is dedicated to specific equipment used for scanning. Particular Artec EVA scanner and ScanReference system. The following chapter is devoted to the practical work and describes process of SCX III car frame scanning following adjustments in CAD software. Summarizing the results of 3D scanning and specific issues with shape complicated parts are described at the end of the thesis.

KEYWORDS: 3D scanning, reverse engineering, digitizing, shape complicated parts

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HUVAR, F. Návrh metodiky skenování tvarově složitých dílů. Ostrava: Vysoká škola
báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
2016. 49s. Vedoucí práce Ing. Vladimír Zbožínek.

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat všem, kteří mi byli nápomocní při tvorbě této práce. Hlavně vedoucímu panu Ing. Vladimíru Zbožínkovi, za poskytnutí odborných podkladů a konzultací pro vypracování této práce.

OBSAH

OBSAH.....	9
ÚVOD.....	11
1. TEORETICKÝ ROZBOR PROBLEMATIKY	12
1.1. 3D skenování.....	12
1.2. Metody bezkontaktní digitalizace povrchů reálných předmětů.....	12
1.2.1. Triangulační metody	13
1.2.2. Optická interferometrie	14
1.2.3. Měření doby letu světla	15
2. POPIS ZAŘÍZENÍ A PŘÍSLUŠENSTVÍ PRO 3D SKENOVÁNÍ	16
2.1. Rozdělení 3D skenerů podle způsobu snímání.....	16
2.1.1. Destruktivní skenery	16
2.1.2. Nedestruktivní skenery.....	17
2.2. Rozdělení 3D skenerů podle principu digitalizace.....	17
2.2.1. Dotykové	17
2.2.2. Bezdotykové.....	18
2.3. Použití dostupných technologií	21
2.4. Artec EVA.....	24
2.3.1. Obecná příprava ke skenování součástí.....	26
2.3.2. Proces snímání.....	26
2.3.3. Skenování bez značek	27
2.3.4. Vyhodnocení naměřených dat.....	27
2.3.5. Skenování s použitím značek	27
2.4. Aicon ScanReference	28
2.4.1. Fotogrammetrická metoda.....	29
2.4.2. Příslušenství systému ScanReference	30
2.4.3. Fotoaparát Nikon D3100.....	30
2.4.4. Kódované značky	31
2.4.5. Nekódované značky	31
2.4.6. Pracovní postup měření.....	32
3. NÁVRH METODIKY SKENOVÁNÍ TVAROVĚ SLOŽITÝCH DÍLŮ	35
3.1. Příprava ke skenování rámu SCX	35
3.2. Skenování rámu SCX pomocí Aicon ScanReference	36

3.3.	Skenování rámu SCX pomocí Artec EVA	37
3.4.	Úprava skenovaných dat v programu CATIA V5R21	39
3.5.	Proložení crash rámu SCX rámem původním	40
3.6.	Proložení crash rámu SCX rámem původním v Artec Studio 10.....	40
3.7.	Proložení crash rámu SCX rámem původním v Geomagic Control	42
3.8.	Zhodnocení deformace nosníků	44
4.	SHRnutí DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ	45
	ZÁVĚR.....	46
	POUŽITÉ ZDROJE.....	47

ÚVOD

Dostali jsme se do doby, kde skenování a potažmo reverzní inženýrství, zažívá svůj boom. Vývoj skenovacích technologií se každým dnem posouvá dále. Dle mého názoru je hlavní příčinou poptávka po této technologii a také dnešní rychlá doba, kde je zapotřebí vše stihnout v co nejkratším čase a pokud možno co nejlevněji.

Reverzní inženýrství je ve své podstatě opačný postup při výrobě dílu nebo konstrukce. Z konkrétní, již vyrobené součásti se procesem digitalizace snažíme dostat zpět technickou dokumentaci. Tento opačný způsob využíváme v situacích, kdy pro danou součást potřebujeme výkresovou dokumentaci, která již neexistuje, či při re-designu. Další z možností uplatnění je kontrola rozměrů nebo kontrola deformací.

Kontrola rozměrů se využívá například v situacích, kdy je pro nás důležitá přesnost rozměrů výrobku ihned po výrobě. Další z možností je tuto technologii využít v případě, že je součást delší dobu využívána v provozu a my chceme zjistit její opotřebování, případně deformace na ni vzniklé. Kontrolovat rozměry a deformace můžeme také v případě, že námi zkoumaný díl absolvoval vysoké jednorázové zatížení. Využití nalezneme například při kontrole dílů automobilu po nehodě. Okem nerozeznatelná deformace, například na přední kapotě, nám může pomoci poodhalit vážnější a skryté problémy, které by se nemusely projevit ihned.

3D skenování si našlo své místo na trhu. Využití této technologie ve své podstatě nezná mezí. Ve velké míře se uchytila v automobilovém průmyslu. Své uplatnění, ale také nalezne například ve strojírenské výrobě, archeologii, módním návrhářství nebo lékařství.

1. TEORETICKÝ ROZBOR PROBLEMATIKY

1.1. 3D skenování

Je to proces, při kterém zachycujeme souřadnice objektu v prostoru. Každá ze souřadnic má své x , y , z hodnoty v závislosti od předem daného počátku. Tímto získáme mrak bodů. Dalším krokem je pak následná úprava tohoto mraku bodů a převedení do plošného nebo objemového modelu v CAD programu.

Pro proces digitalizace jsou nezbytnou součástí 3D skenery a digitizéry. Jsou to přístroje, které dokáží zachytit kýžené souřadnice.

1.2. Metody bezkontaktní digitalizace povrchů reálných předmětů

Pomocí měření trojrozměrných objektů získáváme představu o samotných rozměrech a tvaru zkoumaných předmětů. Problém, který musíme při tomto měření řešit, spočívá v tom, že při transformaci trojrozměrné scény na dvojrozměrný obraz, ztrácíme důležitou informaci o jedné souřadnici. Jde o Z -ovou souřadnici, která je nositelem vzdálenosti měřeného předmětu od senzoru. [1]

Vyřešit tento problém lze za pomoci optické metody měření. Můžeme je rozdělit na tři nejpoužívanější metody. Jedná se o tyto metody:[1]

- triangulace
- optická interferometrie
- měření doby letu světla

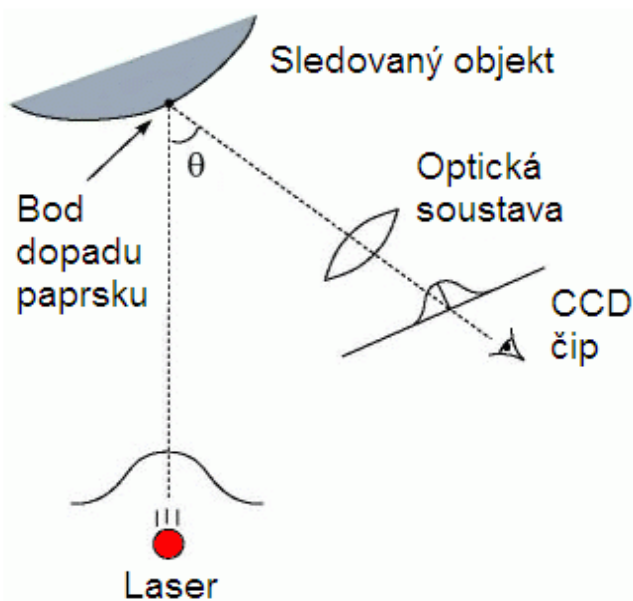
1.2.1. Triangulační metody

Jedná se v současné době o nejpoužívanější metody. Lze je rozdělit do dvou skupin. A to na aktivní triangulaci a pasivní triangulaci. [1]

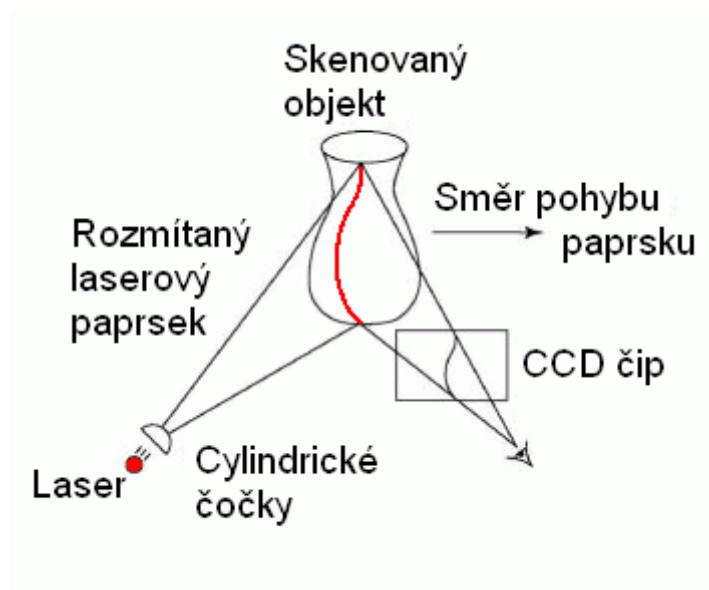
Technika aktivní triangulace spočívá ve fotogrammetrické rekonstrukci snímaného objektu nasvícením jeho povrchu aktivním světelným zdrojem. Jedná se o laser či LED diodu. Současně snímáme povrch objektu CCD snímačem. Výsledkem je rastrový obraz. [1]

Zdroj světla společně se snímačem a bodem na zkoumaném objektu tvoří takzvaný triangulační trojúhelník. Spojnici mezi světelným zdrojem a snímačem nazýváme triangulační bází. Na straně světelného zdroje je úhel svíraný triangulační bází konstantní, kdežto na straně snímače je úhel určen proměnnou pozicí osvětleného bodu na CCD snímači. Z velikost tohoto úhlu lze na základě znalosti triangulační báze určit Z-ovou souřadnici bodu na povrchu objektu. [1]

K osvětlení povrchu můžeme použít různé světelné vzory. Pro jednorozměrnou triangulaci (*Obr. 1*) použijeme světelný paprsek. Pro dvourozměrnou triangulaci (*Obr. 2*) je zapotřebí použít světelný pruh. Pokud chceme, aby byl objekt změřen celý, využijeme strukturovaný světelný svazek. Z pohledu rychlosti se jedná o nejlepší řešení, protože v případě jednorozměrných a dvourozměrných triangulací je nutné měřit scénu postupně. [1]



Obr. 1 – Metoda 1D aktivní triangulace [1]



Obr. 2 – Metoda 2D aktivní triangulace [1]

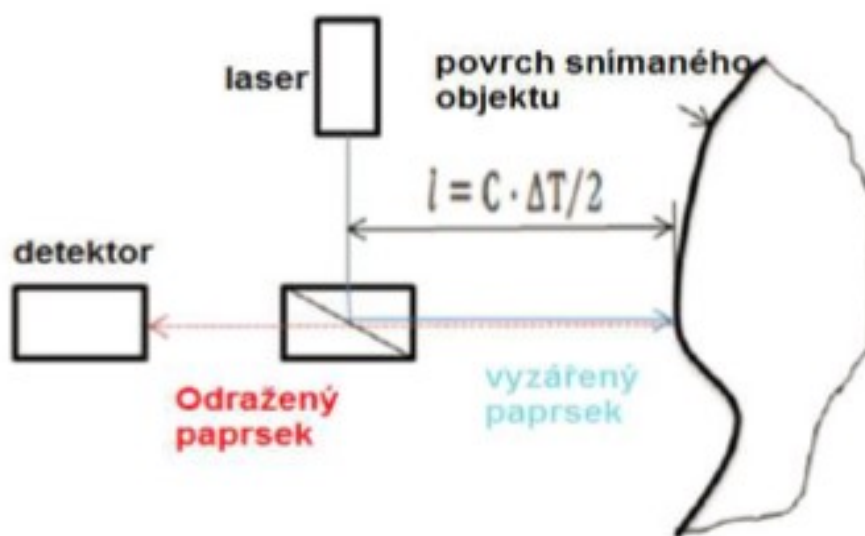
Technika pasivní triangulace používá nejčastěji metodu stereovidění. Tato metoda je založena na podobném systému, jako pracuje lidský zrakový systém při odhadu vzdálenosti. Rozdílem je však to, že místo očí je využíváno dvou CCD snímačů vzdálených od sebe asi 65 mm. Vzorem pro tuto vzdálenost byl opět lidský vizuální systém. Za pomoci dvou snímačů získáme dva stereoskopické snímky. [1]

1.2.2. Optická interferometrie

Optická interferometrie je založena na principu měření doby letu koherentního záření. Vlnění světelného paprsku je rozděleno na měrné a referenční. Výsledkem je, že obě vlnění spolu interferují. Následně jsou zachyceny snímačem. Jako snímač nám poslouží například fotodioda nebo CCD snímač. Tato metoda umožňuje měřit pouze relativní vzdálenost zkoumaných bodů. Měření absolutní vzdálenosti je možno provést až po kalibraci. [1]

1.2.3. Měření doby letu světla

Z-ovou souřadnici můžeme stanovit z doby letu světelného paprsku (*Obr. 3*). A to od času vyslání světelným zdrojem, odrazení od snímaného objektu až po jeho zachycení snímaným senzorem. Jako nevýhodu tohoto způsobu lze označit velké nároky na přesnost měřicího zařízení. Je to způsobeno skutečností, že rychlost světla c je velmi vysoká. [1]



Obr. 3 – Metoda měření doby letu světla [2]

2. POPIS ZAŘÍZENÍ A PŘÍSLUŠENSTVÍ PRO 3D SKENOVÁNÍ

2.1. Rozdělení 3D skenerů podle způsobu snímání

- Destruktivní
- Nedestruktivní

2.1.1. Destruktivní skenery

Tyto zařízení jsou vhodné jak pro skenování vnějšího povrchu (*Obr. 4*), tak také pro skenování povrchu vnitřního. Objekt je při této metodě nenávratně zničen. Součást je zalita do speciálního kontrastního materiálu. V dalším kroku je umístěna do speciální komory, kde je vytvořeno vakuum. Hlavním důvodem je dokonalé zaplnění všech dutin. [11]



Obr. 4 – Destruktivní skener CGI – RE 1000 [6]

Použití této metody je závislé na materiálu součásti. K oddělování vrstev je používána frézka. Z tohoto důvodu jsou vhodnými materiály pro tuto metodu ocel, litina, měď, plasty a další dobře obrobitelné materiály. Samotné skenování proběhne v okamžiku odfrézování ultra tenké vrstvy materiálu. Vzniklý povrch je následně naskenován pomocí optického skeneru. Výstupem jsou pak data v nejběžnějších formátech (IGES, ASCII, STL, ISO G-Code). [3]

2.1.2. Nedestruktivní skenery

Tyto metody skenování již dle názvu danou součást nepoškozují. V současnosti zaujímají majoritní podíl v průmyslovém skenování.

2.2. Rozdělení 3D skenerů podle principu digitalizace

- Dotykové – SMS, mechanické skenery
- Bezdotykové – rentgenové, laserové, ultrazvukové, optické

2.2.1. Dotykové

Jsou to skenery, u kterých je základním principem samotný dotek s povrchem objektu. Před vlastním skenováním je vhodné vyznačit na povrchu skenovaného objektu body, které se musí nasnímat, aby se získal přesný digitální obraz. Počet těchto bodů závisí na složitosti tělesa a požadované přesnosti. [4]

Dotykové skenery se dělí na dva typy a to na souřadnicové měřicí stroje (SMS) a na mechanické skenery. Obecně pro SMS (*Obr. 5*) platí, že se využívají hlavně pro měření součástí, nikoli pro samotné skenování. Rozvoj této technologie šel ruku v ruce s rozvojem automobilového a leteckého průmyslu. Principem je stanovení počátečního bodu v prostoru a dále všech dalších bodů na měřené součásti. [12]



Obr. 5 – Souřadnicový měřicí stroj Discovery II [7]

Mechanické skenery jsou výhodné díky své přijatelné ceně a také díky svým vlastnostem. Slouží k přenesení již existujících hmotných dělů do digitální podoby. Je velice rozšířen v automobilovém, leteckém a hlavně v zábavním průmyslu. Animátoři často využívají služeb tohoto typu skeneru (*Obr. 6*). A to z důvodu snadného přenesení jejich nápadu z hlavy do počítače. Nevýhodou může být snad jen nízká přesnost, která se pohybuje v rozmezí desetin milimetru. [5]



Obr. 6 – Dotykový skener Microscribe [3]

2.2.2. Bezdotykové

Obecně pro tyto skenery platí, že nepotřebují dotek s konkrétní skenovanou součástí.

Rentgenové skenery

Převážně používají ke kontrole potrubí, kotlů a dalších uzavřených nádob. Dokáží nám zobrazit interní i exténní geometrii. Jsou to mobilní zařízení fungující na stejném principu, jako ty ve zdravotnictví. Rozdílem je snad jen mnohem vyšší intenzita záření. Při skenování je předmět položen tak, aby ležel v paprsku vycházejícího z rentgenového zářiče. Poté je jeho profil detekován a transformován do 2D obrazů. Objekt je poté otočen

v několika stupních o 360° a snímán v různých pozicích. Následně je zrekonstruován v síť 3D bodů a zobrazen jako ucelený dílec. [8], [13]

Laserové skenery

Pro tyto skenery (*Obr. 7*) platí, že umožňují bezkontaktně určovat prostorové souřadnice. Proto jsme schopni skenovat různé konstrukce, interiéry, malé předměty, ale naopak i větší stavby. Výsledkem je poté mračno bodů zobrazené v námi používaném softwaru. Mračno lze využít pro tvorbu modelu a nadále ho pak upravovat. Nesmíme však zapomenout na to, že i tato metoda skenování má své omezení a nelze ji využívat za jakýchkoliv podmínek.



Obr. 7 – Laserový skener Go!SCAN 3D [15]

Mezi hlavní výhody patří automatický a systematický sběr bodů, jejich vysoká hustota a výpočet souřadnic v reálném čase. V praxi se využívají hlavně pro skenování statických předmětů, pro topografické aplikace a jako mobilní systémy umístěné na stativy pro měření krátké a střední vzdálenosti. [14]

Ultrazvukové skenery

Tento způsob bezkontaktního skenování funguje na principu snímání povrchu ultrazvukovou sondou. Velkým plusem této metody prostorového snímání povrchu, je nízká cena. Naopak nevýhodou může být relativně malá přesnost. Zde se pohybujeme v rozmezí 0,3 až 0,5 mm. [9]

Samotné skenování probíhá manuálně. Sonda s kovovým hrotem se přikládá přímo na povrch skenované součásti. Po zapnutí dojde k vyslání ultrazvukového signálu. Signál je poté dekodován na prostorové souřadnice. [9]

Optické skenery

Optické skenery (*Obr. 8*) digitalizují vnější povrch a dokáží také rozpoznat texturu objektu. Pro samotné skenování je důležitá příprava povrchu objektu. Velmi nežádoucí je lesk. Proto je zapotřebí povrch zmatnit speciálním křídovým sprejem. [10]



Obr. 8 – Optický skener HandyScan 3D [16]

Opticky se dá snímat dvěma způsoby. První z nich je pomocí kamery. Objekt je třeba nejprve nasvítit pomocí projektoru pásy světla, které kopírují povrch předmětu a zároveň jsou snímány kamerou. Ta pak určí přesné souřadnice. Druhým způsobem je skenování pomocí fotoaparátu. Předmět je polepen speciálními notifikačními značkami, a

poté nasnímán z několika úhlů. Důležitou součástí této metody je i kalibrační kříž. Díky němu systém rozpozná vzdálenost zachycených bodů. [10]

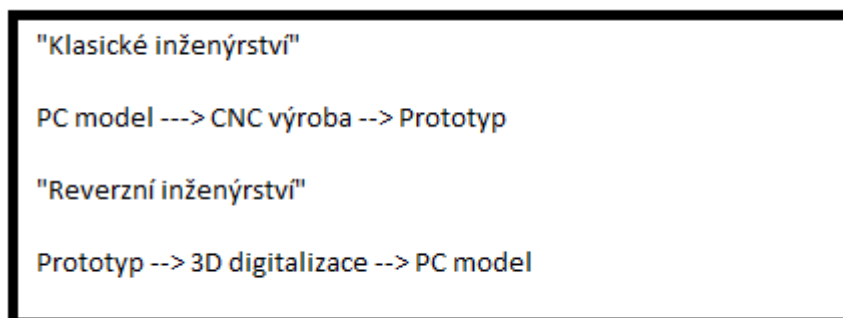
2.3. Použití dostupných technologií

Pro skenování crash rámu elektromobilu SCX III byly využity technologie dostupné na katedře materiálů a technologií pro automobily. Konkrétně se jednalo o skenovací zařízení Artec EVA a Aicon ScanReference. Obě tyto skenovací zařízení lze zařadit do bezkontaktních. Konkrétně se jedná o 3D optické skenery. Rám automobilu byl přesunut na manipulační vozíky pro jeho snadnější pohyb. Poté umístěn do laboratoře, která zajišťovala stále vnější podmínky důležité pro skenování.

Skenování za pomoci optických skenerů je v současnosti velmi využívaná záležitost. Velkou roli v tom hraje poměrně jednoduchá obsluha a dobrá kvalita výsledného skenu. Skenery digitalizují vnější povrch objektu a také dokáží rozpoznat texturu povrchu. Digitalizací lze snadno převést skenované data do CAD programů a následně s nimi pracovat. Jako příklad můžeme uvést softwary Catia, Solidworks nebo Autodesk Inventor. [2]

Využití pro skenery v praxi je veliké. I když se jedná o poměrně novou technologii, našla si své pevné místo. Nejde totiž už jen o strojírenské využití, ale i například o využití při práci designérů a archeologů. Konkrétně se může jednat o:

Reverzní inženýrství – jedná se o opačný výrobní proces strojních součástí. Výrobek je zapotřebí převést do digitální podoby a tím získat CAD model. (*Obr. 9*)



Obr. 9 – Rozdíl reverzního a klasického inženýrství

Rozměrová a tvarová kontrola dílů – doménou optického skenování ve výrobní kontrole se nejprve stala kontrola odlitků a plechových výlisků. Jednalo se především o díly motorů nebo částí karoserií (*Obr. 10*). Vývoj technologie rozšířil možnosti skenování. V dnešní době jsme díky vysokému rozlišení schopni měřit velmi malé díly. [17]



Obr. 10 – Tvarová a rozměrová kontrola výlisků kapoty automobilu [18]

Oblast designu – samostatné odvětví tvoří oblast průmyslového designu. Ručně vyrobený model se sejme skenerem a následně převede do CAD softwaru. V něm už lze provést různé korekce a úpravy. Následně můžeme model vytisknout na 3D tiskárně pro jeho praktické vyzkoušení. [17]

Velké využití nachází také v automobilovém designu. Designéři nejprve vytvoří hliněný model s komplikovaným tvarem. Následně ho přenesou do 3D počítačového modelu, který mohou dále upravovat. Místo pro skenování se nalezne také při úpravě aut, takzvaném tuningu. [17]

Rekonstrukce poškozených dílů – je to jedno z hlavních využití 3D skeneru ve strojírenství. Používá se v případě výměny nebo poškození staré součástky, ke které chybí výkresová dokumentace. V CAD softwaru je poté možno 3D model upravit a popřípadě vylepšit. [10]

Film a počítačové hry – 3D skenery pomáhají při tvorbě animovaných postav. Jako první se nakreslí podoba postavy. Poté se vytvoří 3D model, který se naskenuje. Za pomoci sofistikovaných programů se tento model animuje. [10]

Ve filmové branži se skenování využívá například pro tvorbu odlitků částí těla (*Obr. 11*) nebo pro tvorbu hybridního 3D make-upu. [10]



Obr. 11 – Skenování obličeje pro výrobu odlitku hlavy [19]

S optickým skenováním se pojí, tak jak s jakoukoli jinou technologií, množství výhod, ale také i nevýhod. Jako přednosti můžeme zmínit například:

- Vysoké rozlišení a přesnost
- Okamžité vytvoření CAD modelu z nasnímaných dat
- Mobilita měřicího zařízení
- Vyhodnocení odchylek od CAD dat dodaných zákazníkem
- Export do různých formátů
- Flexibilita, lze měřit objekty od několika milimetrů do několika metrů
- Po úpravě povrchu lze měřit i lesklé a průhledné objekty
- Vhodné pro použití v sériové výrobě pro svou rychlost zpracování dat

Jako nevýhody optických skenerů můžeme zmínit: [20]

- Krátký dosah
- Nutnost přídavného osvětlení
- Malá plocha záběru
- Vysoká cena

2.4. Artec EVA

Artec EVA (*Obr. 12*) je přístroj pro 3D skenování. Velmi užitečný je v případě kdy potřebujeme získat rychlý a přesný 3D model objektu. Jeho velikou výhodou je také fakt, že dokáže zachytit informaci o textuře a barvě. Pro skenování nejsou potřeba žádné referenční značky, ale pro zvýšení přesnosti u tvarově složitých objektů jsou velkou výhodou. Další podstatnou výhodou je fakt, že není nutná kalibrace, proto může proces skenování proběhnout ihned po připojení skeneru do počítače. Pro zvýšení mobility zařízení je možné ho připojit k akumulátoru a skenovat i na místech bez připojení k síti. Jako zdroj světla je použit blesk. Zařízení je schopno současně zpracovávat až 288.000 bodů za sekundu. Oproti laserovým skenerům dokáže EVA kontrolovat až desetkrát rychleji. Zároveň poskytuje vysoké rozlišení a vysokou přesnost. Skener dokáže zachytit až 16 snímků za sekundu, v reálném čase pak automaticky snímky spojuje. Artec EVA nepoužívá elektromagnetické sledování, takže kovové předměty v místnosti nejsou v rozporu s výkonem a přesností. Toto zařízení můžeme najít v mnoha průmyslových odvětvích. Využití nalezne jak v reverzním inženýrství, automobilovém průmyslu, leteckém průmyslu, tak i při kontrole kvality objektů. [2]



Obr. 12 – Optický skener Artec EVA

Technické parametry

Možnost snímání textury a barvy	Ano
3D rozlišení	0,5 mm
3D bodová přesnost	0,1 mm
Rozlišení textury	1,3 MPx
Barvy	24 bpp
Zdroj světla	blesk (ne laser)
Pracovní vzdálenost	0,4 - 1 m
Zorné pole pro kratší vzdálenost	214 x 148 mm
Zorné pole pro delší vzdálenost	536 x 371 mm
Zorný úhel (v x š)	30° x 21°
Rychlost snímání	16 fps
Doba expozice	0,0002 s
Rychlostní snímání dat	288 000 bodů/s
Zpracování dat	Ano
Rozměry	262 x 158 x 64 mm
Hmotnost	0,85 kg
Příkon	12V, 48W
Rozhraní	1x USB 2.0
Kalibrace	žádná
Výstupní formáty	PLY, OBJ, STL, WRML, ASCII, AOP, PTX, CSV
Kapacita zpracování dat	40 000 000 trianglů/1GB RAM
Podporované operační systémy	Windows Vista, Windows 7 64-bit, Windows 8
Minimální požadavky na PC	Intel® Core™ Quad, 4GB RAM, NVIDIA GeForce 9 (9xxx) série
Požadavky na stereoskopii	NVIDIA Quadro nebo lepší

Tabulka č.1 – Artec EVA-technické parametry

2.3.1. Obecná příprava ke skenování součástí

Obecně při procesu skenování lesklých povrchů může docházet k odražení paprsků světla. Tyto odlesky mohou zapříčinit zkreslení. Další problémy mohou nastat v případě, že je předmět příliš tmavý. Než dojde ke skenování součásti, je zapotřebí ji očistit od nečistot. Dále je třeba v případě nutnosti nanést antireflexivní vrstvu na povrch. Možno je povrch nastříkat šedým primerem nebo využít křídový sprej. Tyto vrstvy mají za úkol zmatnit a zesvětlit povrch. Je třeba také brát v potaz velké rozdíly v kontrastu barev. Může se jednat například o skokové přechody z bílé do černé barvy. V tomto případě skener nemusí dokonale zachytit povrch skenovaného modelu. [2]

2.3.2. Proces snímání

Proces snímání zahájíme stisknutím tlačítka na digitizéru. Zaměříme námi skenovaný objekt a umístíme skener do požadované vzdálenosti. S udržení vzdálenosti nám pomáhá grafické znázornění na obrazovce. Při druhém stisku téhož tlačítka započne proces samotného snímání. V reálném čase se nám objevuje na obrazovce již naskenovaná část objektu. V případě, že chceme snímání ukončit, zmáčkneme druhé tlačítko umístěné na digitizéru. Můžeme využít i totožnou nabídku přímo v programu, pokud se nacházíme v blízkosti počítače.

Abychom dosáhli požadovaného výsledku, musíme se snažit udržovat ideální vzdálenost mezi skenovaným předmětem a skenerem. Dále je potřeba nasnímat objekt ze všech stran.

Pro snímání objektu můžeme využít dvou metod. Jednou z nich je ruční skenování. Tento způsob je velmi jednoduchý, avšak výsledek nemusí být vždy plně uspokojivý. Hlavním problémem je udržení ideální vzdálenosti. Skener se často v ruce nedaří udržet v rozmezí a snímání se musí opakovat. Tento způsob je vhodný pro skenování větších součástí. Druhou možností je skenování se stacionárně upevněným skenerem a otáčející se objektem. V tomto případě je nutné mít otáčející se stoleček. Výhodou je konstantní vzdálenost od předmětu, kterou můžeme nastavit předem. Nevýhodou této metody je omezená velikost a váha skenovaného předmětu.

2.3.3. Skenování bez značek

Jedná se o nejjednodušší metodu skenování. Jak již bylo výše zmíněno, pro skenování pomocí EVY není zapotřebí žádných skenovacích značek. Proto se jedná o způsob velmi rychlý a jednoduchý. V první řadě je zapotřebí přichystat skenovaný objekt. Zajistit, aby se na potencionální odlesky nanasla antireflexivní vrstva. Poté jen spustíme program s námi zvoleným režimem a spustíme skenování.

2.3.4. Vyhodnocení naměřených dat

Výsledek skenování nemusí být vždy dle našich představ. Díky rychlosti procesu skenování není problém nepovedená data nahradit daty novými. Další z možností je úprava skenu přímo v programu Artec Studio. V tomto softwaru najdeme mnoho funkcí, které nám pomohou naskenovaná data upravit. Například se jedná o gumu, kterou využijeme na nechtěně naskenované předměty, nebo o automatické zacelování děr. Pro docílení nejlepšího možného skenu můžeme ještě využít možnosti pracovat s pozicí objektu, nebo změnit skenovací parametry. V případě, že se nám nelíbí jen jedna část naskenovaného objektu, nemusíme skenovat celý objekt znova. Stačí doskenovat jen námi určenou část. Systém sám ve spolupráci se softwarem tyto informace opraví. Nakonec se data spojí do jednoho celku a uloží do příslušného formátu. Nejčastěji se využívá formát .stl.

2.3.5. Skenování s použitím značek

Skenování se značkami je proces o něco složitější. Je vhodný pro předměty s velkou tvarovou složitostí. Pro tento způsob je nutná kooperace více systémů. V první řadě je nutné objekt opět připravit ke skenování. Proto ho musíme očistit a nanést antireflexivní vrstvu pokud je to nezbytné. Dále na objekt připevníme referenční značky. Ty nasnímáme pomocí ScanReference a výsledek využijeme pro skenování EVOU. Data jsou za pomoci Artec Studio 10 nainportovány do paměti. Poté můžeme spustit proces skenování se značkami. Je důležité, aby skener zachytil najednou nejlépe šest a více značek. Pokud tomu tak není,

skener nezaznamenává žádná data. Následná úprava by posléze měla být jednodušší díky přesnějšímu skenování.

Výhody

- Možnost skenování s referenčními značkami i bez
- Vysoká přesnost snímání
- Vysoká rychlost snímání
- Velká mobilita zařízení
- Nepotřeba kalibrace

Nevýhody

- Udržování skenovací vzdálenosti
- Úprava povrchu před skenováním
- Cena

2.4. Aicon ScanReference

Tento jednoduchý a zároveň důmyslný systém se může rovnat s o mnoho dražšími a složitějšími fotogrammetrickými systémy. Uplatnění najde především pro zaměření jednoduchých úkolů s vysokým rozlišením. Výhodou je také jeho variabilita a mobilita. Umožňuje nám velmi rychlé a jednoduché měření referenčních bodů. Ty nám pomáhají při následném spojení skenovaných dat. [2]

Sít z referenčních bodů se nejčastěji využívá pro velké objekty nebo pro objekty, které jsou velmi tvarově složité. Nejčastěji se s touto technologií setkáváme v praxi při kontrole kvality, deformační analýze, rekonstrukci tvaru objektu, nebo při digitalizaci rozměrů. Oproti dražším přístrojům jsou zde omezenější funkce. Dokáže například pouze

základní vymezení referenčních bodů. Nehledě na tuto skutečnost se jedná o přesné řešení za přijatelnou cenu. Manipulace s tímto systémem je velice jednoduchá a intuitivní. [2]

2.4.1. Fotogrammetrická metoda

V prvé řadě je důležité na skenovaný objekt nalepit nebo jiným způsobem připevnit optické body. Tyto body by měly být rozmístěny náhodně nebo tak aby netvořili symetrii. A nakonec se musí k předmětu přiložit kříž s referenčními značkami. Princip této metody spočívá ve vyhodnocování prostorových údajů z více fotografických snímků. Na nich jsou pak identifikovány optické body neboli referenční značky. Odtud je pak určována pozice, odkud byla fotografie pořízena. Fotografování je prováděno digitálním fotoaparátem s uloženými parametry. Je zapotřebí vyfotit co největší počet fotek z různých úhlů, výškových profilů a míst v daném prostoru. Je také nutné, aby každá značka byla minimálně na třech fotografiích. Systém posléze dokáže z vytvořených fotografií vyhodnotit pozici jednotlivých bodů v prostoru. Rychlost tohoto vyhodnocení se odvíjí od počtu bodů a fotografií. Jeden objekt může obsahovat až několik tisíc těchto bodů. [21]

S procesem skenování se pojí i chyby v přesnosti. Tyto chyby mohou být vyvolány například nestálou teplotou místnosti nebo prostoru, kde skenování provádíme. Souběžně s tím souvisí i nestálost vnějšího osvětlení. S rostoucím počtem snímků se nám také může začít sčítat chyba. Čím větší těleso skenujeme, tím více snímků musíme nafotit a s tím souvisí pak větší chyba. Nesmíme také zapomenout na chybu způsobenou bleskem fotoaparátu. Ten může ovlivnit parametry skenování díky osvětlení povrchu. [21]

2.4.2. Příslušenství systému ScanReference

- Digitální fotoaparát Nikon D3100
- Nabíječka
- 8GB SD karta
- Referenční kříž
- Jednorázové nekódované nalepovací značky
- Kódované magnetické značky
- Software pro úpravu dat
- USB softwarový klíč

2.4.3. Fotoaparát Nikon D3100

Jedná se o digitální zrcadlovku s velmi nízkou hmotností (*Obr. 13*). Užívání je jednoduché. Fotoaparát obsahuje obrazový snímač CMOS formátu DX s 14,2 milionů pixelů. Snímky dosahují nízké úrovně šumu a mají vysokou kvalitu. Tyto atributy jsou důležité pro skenování značek. Snímky se ukládají na SD kartu. V našem případě se jedná o 8GB kartu na kterou se při zapečetěném nastavení vleze okolo pět set fotografií. Fotoaparát také disponuje rozměrným LCD displejem s velikostí 7,5 centimetrů. O světelný zdroj při samotném focení se stará integrovaný blesk. Fotografie se ukládají ve formátech JPEG, nebo RAW. [22]



Obr. 13 – Fotoaparát Nikon D3100

2.4.4. Kódované značky

Tyto značky neboli přesněji referenční body (*Obr. 14*) jsou důležitou součástí celého systému ScanReference. Zajišťují přesnou orientaci v prostoru. Body se starají dále o rozpoznání polohy mezi fotoaparátem a bodem. Každý jednotlivý bod má svou číselnou hodnotu, která je kódována prostřednictvím jedinečného obrázku na značce. Systém následně hodnoty rozpozná automaticky. Značky musí být na objekt rozmístěny nepravidelně a v dostatečném množství. Čím větší počet značek bude na jedné fotografii, tím dosáhneme větší přesnosti měření. Na stejném principu také funguje referenční kříž. Na kříži jsou umístěny kódované referenční značky, které mají za úkol vytvořit počátek. Od něho pak následně další značky odvozují svojí polohu. [2]



Obr. 14 – Kódované referenční body

2.4.5. Nekódované značky

Pro získání přesných souřadnic objektu využíváme nekódované referenční značky (*Obr. 15*). Jsou to papírové nalepovací značky. Jsou určeny jen k jednomu použití a jejich velikost se mění s velikostí skenovaného objektu. Minimálně je zapotřebí zachytit každý jednotlivý bod na třech po sobě jdoucích snímcích. Hustota těchto bodů na objektu závisí

na jeho tvarové složitosti. Čím složitější objekt je, tím více značek je třeba použít. Při následném skenování, skener vyžaduje minimálně šest viditelných značek.



Obr. 15 – Nekódované referenční značky

2.4.6. Pracovní postup měření

V první řadě je zapotřebí připravit skenovaný objekt. Jedná se o jeho očištění a uložení do takové pozice, abychom mohli fotografovat ze všech směrů. Rozmístíme na objekt dostatečné množství kódovaných referenčních značek. Poté začneme lepit nekódované referenční značky tak, aby byly rozmístěny nerovnoměrně a v požadované hustotě. Je třeba dávat si také pozor, aby značky byly dokonale nalepeny na povrchu, nikde se neodlepovaly a vždy celým svým povrchem ležely na povrchu skenované součásti. Počet takovýchto značek může pohybovat až v řádech tisíců. Proto je třeba mít dostatečně výkonný počítač. Před samotným skenováním je ještě třeba umístit před skenovaným objekt referenční kříž, aby byl dobře vidět. Poté ustálit světelné podmínky. [2]

Nyní můžeme započít samotný proces skenování. Snímky je třeba pořídit z co nejvíce možných úhlů a výškových hladin. Je třeba zachytit veškeré kódované a nekódované značky a také kalibrační kříž. Jedná se o poměrně časově náročnou aktivitu. U složitých dílů může práce trvat až v rozmezí několika hodin. [2]

Po nafocení potřebných snímků, vyjmeme SD kartu z fotoaparátu a fotografie přesuneme do softwaru. Doba importu dat se odvíjí od počtu fotografií a počtu zaměřených bodů. Jak už bylo výše zmíněno, k zobrazení jednoho bodu, je třeba, aby se objevil minimálně na třech po sobě jdoucích snímcích. Souřadnice v prostoru jsou vypočítány pomocí fotogrammetrie. Ve výsledku měření se mohou objevit i nechtěné body, které vznikly odrazem od okolních předmětů. Další možností je, že bod nebyl zaměřen na třech po sobě jdoucích fotografiích. Tyto body je třeba následně v softwaru odstranit. Nakonec jen necháme všechny body svázat v jeden celek. [2]

Vyhodnocení a práce s daty probíhá ještě před uložením v daném softwaru. Nejčastěji pak dochází k porovnávání CAD modelu s naměřenými body. Porovnávají se například vzájemné pozice bodů. Výstupem z měření pak jsou 3D souřadnice diskretních bodů, řezy, obrysové křivky, grafické a textové protokoly měření. [2]

Výhody

- Mobilita
- Rychlost měření
- Cena systému
- Bezkontaktní snímání
- Vysoká přesnost při ideálních podmínkách
- Možnost měřit lesklé nebo měkké materiály
- Jednoduchá manipulace

Nevýhody

- Sčítání chyb s rostoucím předmětem
- Časová náročnost měření
- Vhodné pro kusové měření

Využití

- Reverzní inženýrství
- Kontrola kvality
- Deformační analýza

3. NÁVRH METODIKY SKENOVÁNÍ TVAROVĚ SLOŽITÝCH DÍLŮ

Pro uskutečnění praktické části bakalářské práce byl vybrán rám automobilu SCX III. Tento příhradový rám je svařen z ocelových profilů různých délek a průřezů. Ve zkušebně automobilky Škoda na něm byl proveden crash-test při padesáti kilometrové rychlosti. Většinu energie pohltila přední část, kde se také objevila největší vizuální deformace profilů. Rám byl vybrán pro svou tvarovou složitost a malé plochy ve shodných rovinách. To zapříčinilo delší dobu přípravy, větší složitost samotného skenování a následné úpravy naskenovaných dat. Následně byl v programu CATIA V5R21 ze skenovaných dat vytvořen model rámu. Ten byl poté proložen CADovým modelem pro zjištění odchylek po crash-testu.

3.1. Příprava ke skenování rámu SCX

V první řadě byl rám (*Obr. 16*) převezen z venkovních prostor do vnitřních a opatřen kolečky pro jednodušší manipulaci. Následně ho bylo třeba očistit od nečistot, který by mohly mít negativní vliv na proces samotného skenování. Z rámu byly odstraněny části, které neměly význam při konečném měření odchylek. Ze přední části se jednalo o komponenty řízení a obě přední nápravy. Ze zadní části byly odstraněny dvě závaží imitující váhu motorů a náprav. Jelikož byl rám opatřen oranžovým matným nátěrem, nebyl již třeba v žádné z částí využít antireflexivní vrstvu. Nyní přišel čas na opatření rámu kódovanými a nekódovanými referenčními body. V případě rozmístění kódovaných referenčních značek bylo třeba dbát na to, aby jich bylo v jednom záběru vidět co nejvíce. Díky tvarové složitosti celého rámu, bylo třeba značky rozmístit s rozvahou. Důležité je, aby jich v jednom záběru bylo vidět co největší možný počet. Následovalo rozmístění značek nekódovaných. Díky velikosti rámu a velkému počtu nosníků, bylo nutné opatřit rám obrovským množstvím značek. Poprvé se jednalo o počet 8223. Toto číslo ale nebylo konečné. V prvním pokusu totiž ztroskotal proces skenování EVOU na problému zachycení šesti a více značek najednou. Proto se počet značek musel zvýšit na konečné číslo 12 334. Jednalo se o velmi časově náročnou aktivitu, která v důsledku zabrala více než 15 hodin čisté práce. Značky bylo třeba rozmístit ve velmi krátkých intervalech.

Zapříčiněno to bylo členitostí rámu a malou plochou v jedné rovině. V případě, že by se skenovala například kapota automobilu, nebyl by s plochou problém. Jelikož se ale jedná o příhradový rám, složený z mnoha nosníků, plocha dosahovala v porovnání jen minima. Po nalepení dostatečného počtu značek, byl tedy rám připraven ke skenování pomocí Aicon ScanReference.



Obr. 16 – Crash rám automobilu SCX

3.2. Skenování rámu SCX pomocí Aicon ScanReference

Pro rychlé a jednoduché zaměření referenčních bodů bylo využito technologie, kterou disponuje katedra materiálů a technologií pro automobily. Konkrétně se jednalo o fotogrammetrický systém od firmy Aicon. Tento systém byl vybrán jako neoptimálnější, jelikož se využívá pro skenování velkých objektů.

Samotné skenování proběhlo v prostorách katedry, ve kterých byly zajištěny stále světelné podmínky. K rámu byl umístěn kříž s referenčními značkami, který měl za úkol tvořit počáteční souřadnice v prostoru. Od těchto souřadnic pak vycházely souřadnice bodů ostatních. Následně došlo pomocí digitálního fotoaparátu k nafocení rámu. Bylo zapotřebí

pořídit co nejvíce fotografií z co nejvíce úhlů, pohledů a výškových úrovní. Díky složitosti rámu se počet fotografií dostal až na číslo 850. Po ukončení skenování byly snímky vloženy do počítače a následně importovány do příslušného programu k vyhodnocení. Výsledkem byl mrak bodů (*Obr. 17*). Tento mrak bodů byl následně využit pro přesnější skenování pomocí Artec EVA.



Obr. 17 – Mrak bodů přední části rámu SCX

3.3. Skenování rámu SCX pomocí Artec EVA

Skenování za pomoci EVY je z uživatelského hlediska poměrně jednoduché. Velkou úlohu v tom hraje nepotřeba kalibrace a možnost skenování ihned po spuštění. Pro skenování bylo využito kooperace se softwarem Artec Studio 10. Tato vylepšená verze Artec Studia 9 nese několik výhod. Tou největší je automatické spojování jednotlivých skenů ihned po ukončení skenování. Tato funkce mnohonásobně urychlí výslednou práci s daty.

V první řadě bylo velmi důležité při ručním skenování odhadnout správnou vzdálenost mezi skenerem a skenovanou součástí. Software ukazatelem napovídá, zda-li je třeba skener oddálit nebo přiblížit. Tato funkce je doprovázená zvukovým efektem v případě, že nemám vizuální kontakt s obrazovkou. Dalším úskalím byla nutnost připojení skeneru do sítě při nepřítomnosti přenosné baterie.

Samotné skenování (*Obr. 18*) probíhalo, jak je již zmíněno výše, nadvakrát. V prvním případě skeneru nestačila hustota referenčních bodů. V jednom okamžiku musí jít vidět minimálně šest značek ve skenované oblasti a nejlépe v jedné rovině. Při druhém pokusu byly již všechny neduhy předchozího testovacího pokusu odstraněny. Jedním z největších problémů bylo zachytit veškeré části rámu. Díky tvarové složitosti a pohybu rámu pouze ve dvou osách, nebylo fyzicky možné zachytit všechny nosníky. Jednou z možností by bylo rám zvednout na zvedácích do výšky a doskenovat potřebná data. To ale z důvodu kapacitních a složitosti nebylo uskutečněno. Data tak byly pro úplnost dotvořeny v příslušném CAD softwaru.



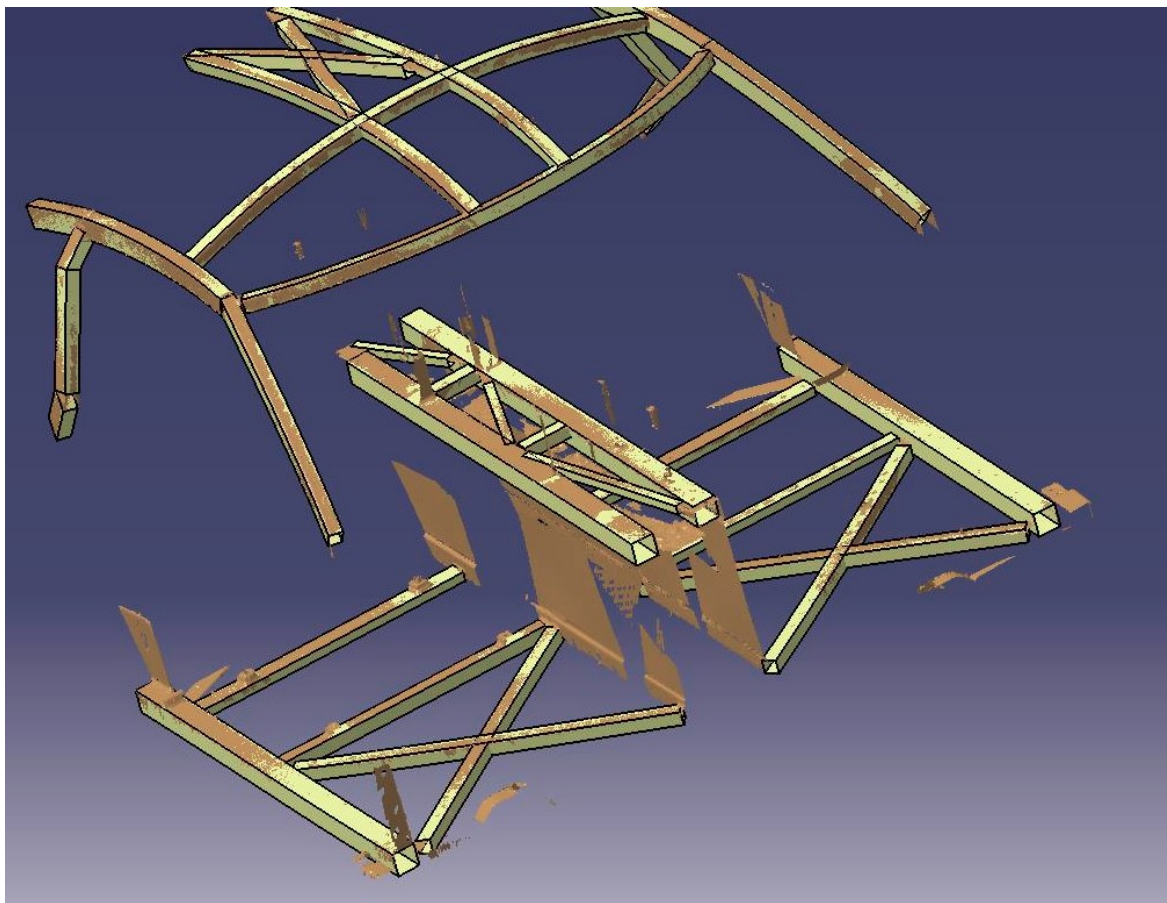
Obr. 18 – Skenování přední části rámu SCX

S úpravou dat pak již nebyl problém. Skeny se na sebe automaticky napojovaly. Následně bylo ještě potřeba pomocí nástrojů v programu odstranit nežádoucí prvky. Těmi byly naskenovaná podlaha a občasné zaznamenání okolních předmětů. Výsledný sken se posléze uložil ve formátu .stl a importoval do CAD softwaru CATIA V5R21, kde se s ním následně pracovalo.

3.4. Úprava skenovaných dat v programu CATIA V5R21

Úprava dat byla potřebná díky nedokonalému výstupu ze skeneru Artec EVA. Byl zapříčiněn velikou tvarovou složitostí skenovaného rámu. Proto bylo třeba za pomoci pluginu v softwaru CATIA V5R21 upravit data do takové podoby, aby mohly být proloženy původními CAD daty. Výsledkem proložení by pak mělo být zjištění odchylek mezi rámem po crash testu a rámem původním.

Z důvodu velikosti souboru a pro usnadnění práce, byl rám rozdělen na 3 části. První část byla tvarově nejsložitější. Jednalo se o přední část, kde došlo k největším deformacím a tvarovým rozdílům. Další dvě části pak tvořily střední část a zadní část rámu. Každý z nedokonale naskenovaných nosníků, bylo třeba proložit nosníkem novým. Úkolem bylo, aby nosník nově vytvořený přesně kopíroval ten naskenovaný. (Obr. 19).



Obr. 19 – Proložení skenované části rámu nosíky

V první řadě bylo třeba vybrat jeden nosník. Poté vytvořit dvě roviny kopírující dvě na sebe kolmé strany. Následně pak vytvořit třetí rovinu, která bude kolmá k obou rovinám. Na tuto výslednou rovinu pak přenést nejméně jednu hranu nosníku. Z této hrany lze pak

již dle daného typu nosníku vytvořit čtverec či obdélník, který nám napomůže v pozdější operaci. V dalším kroku bylo třeba co nejpřesněji proložit nejdelší hranu nosníku křivkou. Křivka dále musela procházet jedním z vrcholů již dříve vytvořeného čtverce či obdélníku. Poslední krok k vytvoření nosníku pak bylo tažení čtverce či obdélníku po námi vytvořené křivce. Tento postup následně aplikujeme na tvorbu ostatních nosníků.

V posledním kroku úpravy rámu je třeba nosníky spojit, dokončit a vytvořit tak jednotný rám.

3.5. Proložení crash rámu SCX rámem původním

Proložení dvou součástí se obecně využívá v případě, že chceme mezi nimi zjistit odchylku. K překrytí se mohou využít funkce jako překrytí n bodů, zarovnání nejmenší odchylky, zarovnání podle prvku, nebo zarovnání RPS (Reference Point System). Těmito funkcemi disponují různé CAD softwary. Namátkou se může jednat o Rhinoceros, Geomagic Control, GOM V8 nebo Artec Studio 10. Využity byly dva z nich a to Artec Studio 10 a Geomagic Control. V každém z nich byl využit jiný postup proložení. Díky tomu bylo možné porovnat práci dvou softwarů a zhodnotit, který způsob je nejlepší pro naši situaci.

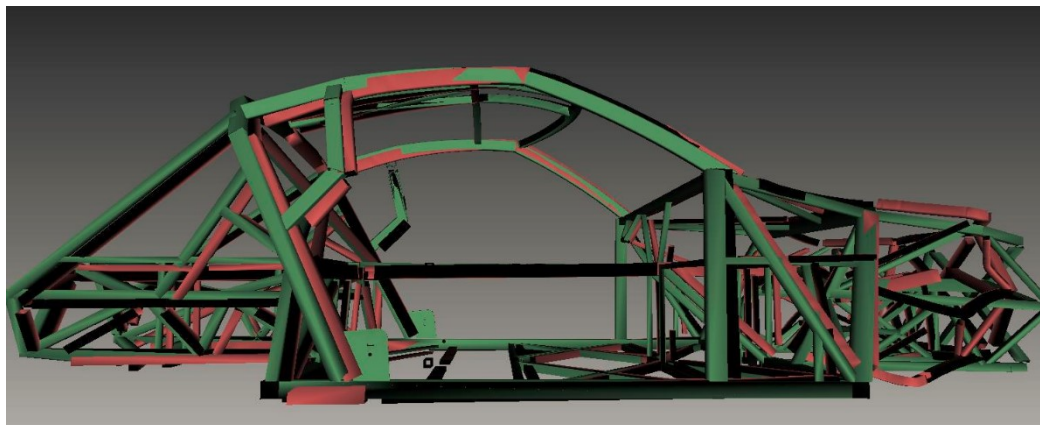
3.6. Proložení crash rámu SCX rámem původním v Artec Studio 10

V první řadě bylo zapotřebí všechny tři hotové části rámu převést z formátu .stp do .stl. Důvodem byl software Artec Studio 10, který formát .stp nepodporuje a který je zapotřebí pro proložení dvou rámu. K této operaci byl využit Autodesk Inventor.

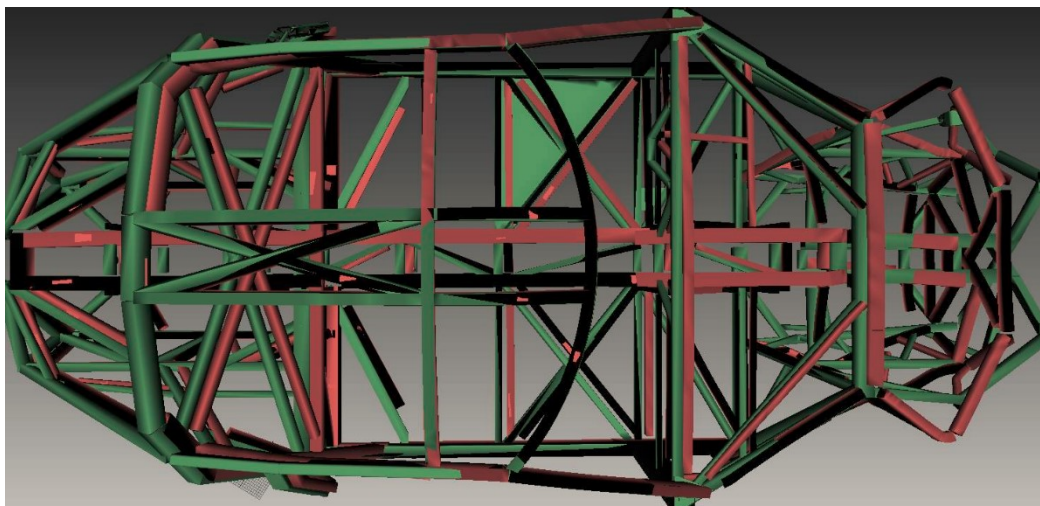
Po úspěšném převedení formátu bylo nutné spojit tyto tři části v jeden celek. Části byly naimportovány do Artec Studia 10, kde se díky shodnému souřadnému systému spojily automaticky v celý rám.

K hotovému spojenému rámu byl posléze vložen model původního CAD rámu. Díky funkci Align byly tyto dva rámy proloženy (*Obr. 20 a, b*). Proložení probíhalo za

pomocí překrytí tří párů shodných bodů umístěných na površích rámu. Tyto body byly vybrány ze střední a zadní části crash rámu, kde nedošlo k tak výrazné deformaci a nosníky přibližně odpovídaly původním tvarům.

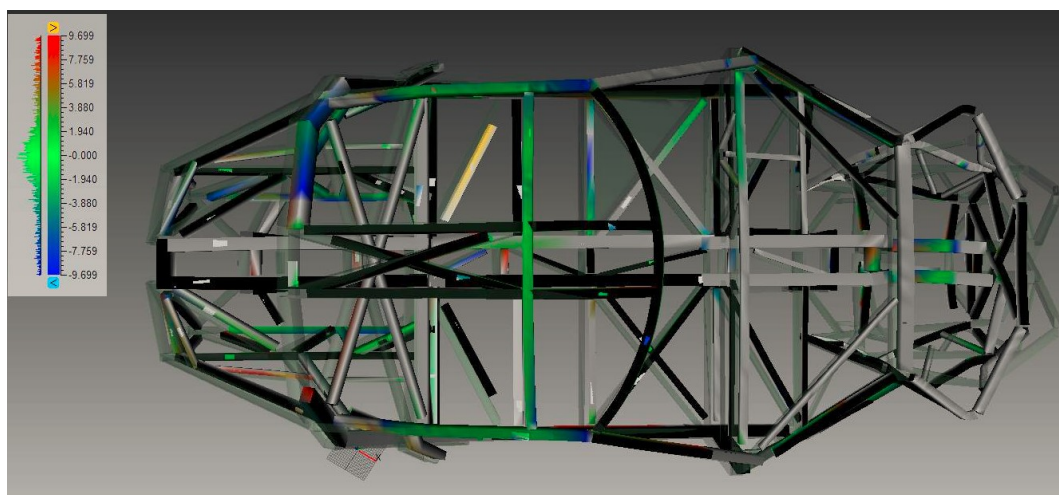


Obr. 20 a) – Porovnání rámu – boční pohled (zelený – původní, červený – vytvořený)

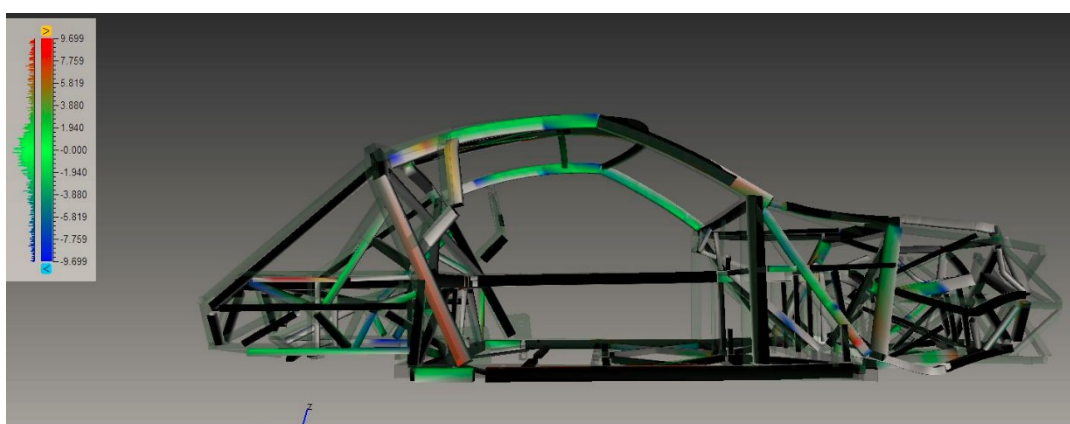


Obr. 20 b) – Porovnání rámu – horní pohled (zelený – původní, červený – vytvořený)

Proložení rámu bylo využito pro vytvoření porovnávací mapy s odchylkami (*Obr. 21 a, b*). Díky již uskutečněnému proložení stačilo použít funkci pro vytvoření porovnávacích map. Na povrchu původního rámu vznikla barevná mapa, dle které se dají zjistit velikosti odchylek od crash rámu. Mapa se ovšem vytvořila jen ve střední a zadní části. Důvodem byla deformace přední části. Ta dosahovala v některých místech až desítek centimetrů. Roli také hrála veliká tvarová rozlišnost původních a skenovaných nosníků. Na střední a zadní části se rozdíly pohybovaly do deseti milimetrů.



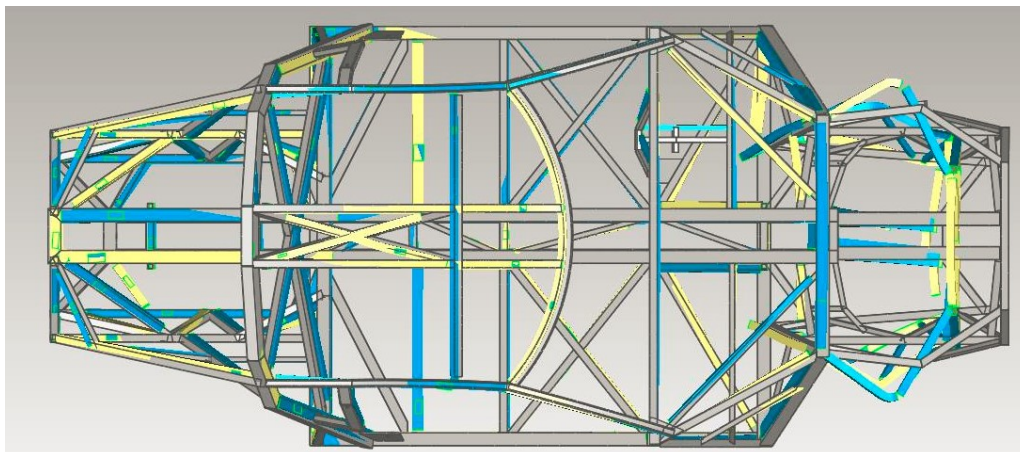
Obr. 21 a) – Porovnávací mapa – horní pohled



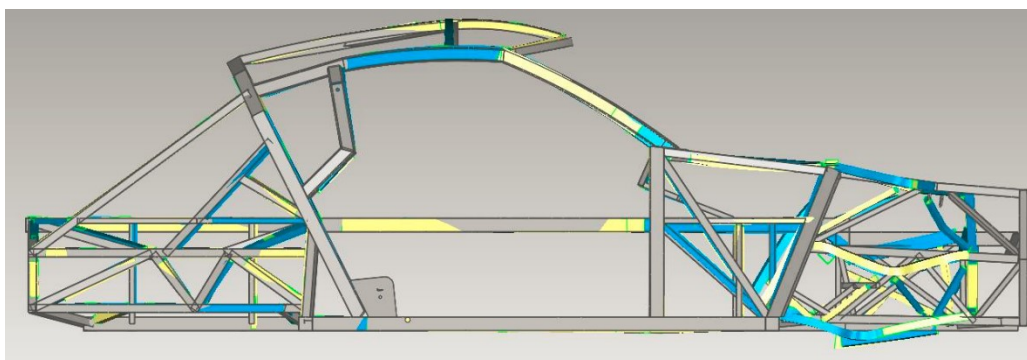
Obr. 21 b) – Porovnávací mapa – boční pohled

3.7. Proložení crash rámu SCX rámem původním v Geomagic Control

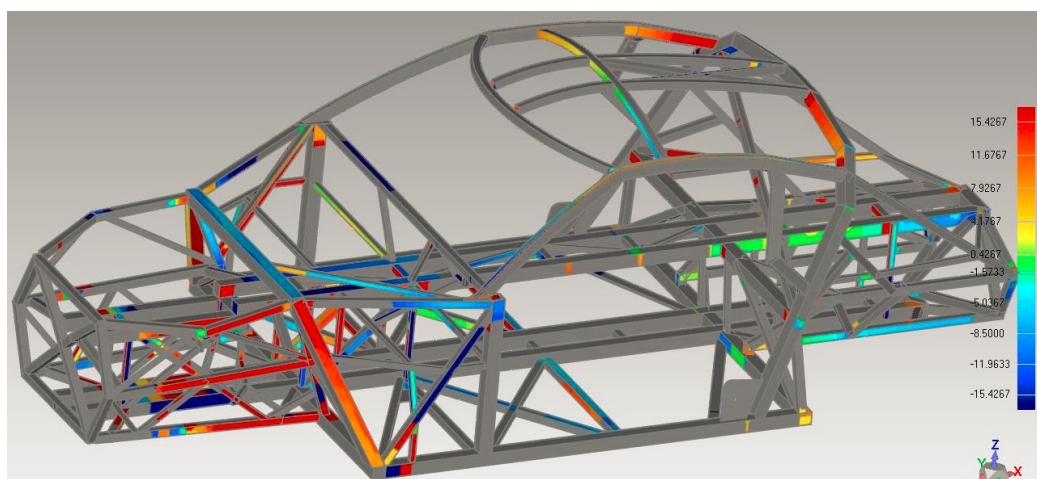
Pro porovnání dvou rámu bylo zapotřebí, aby původní rám zůstal ve formátu .stp a crash rám byl ve formátu .stl. Pouze v tomto případě byla povolena funkce zarovnání podle nejmenší odchylky. Po potvrzení této funkce přišlo automatické natáčení a přesun rámu do takové pozice, aby jejich překrytí odpovídalo právě nejmenší odchylce. Po tomto kroku software barevně rozliší oba rámy (*Obr. 22 a, b*). Dle toho lze vizuálně zkontrolovat, kde proběhla největší deformace a na jaké části náraz neměl takový vliv. Dále bylo třeba vytvořit barevnou mapu s odchylkami. Pro tento krok má program funkci 3D porovnání. Pomocí ní byla vytvořena mapa. Tu bylo ale nutno upravit, jelikož nebyla průkazná. Hodnota maximální a minimální zobrazené odchylky byla stanovena dle předchozího měření na necelých šestnáct milimetrů. Poté již vykreslená mapa odpovídala požadavkům na ní kladeným (*Obr. 23*).



Obr. 22 a) - Porovnání ráků – horní pohled (šedý – původní, modrořlutý – vytvořený)



Obr. 22 b) – Porovnání ráků – boční pohled (šedý – původní, modrořlutý – vytvořený)



Obr. 23 – Porovnávací mapa

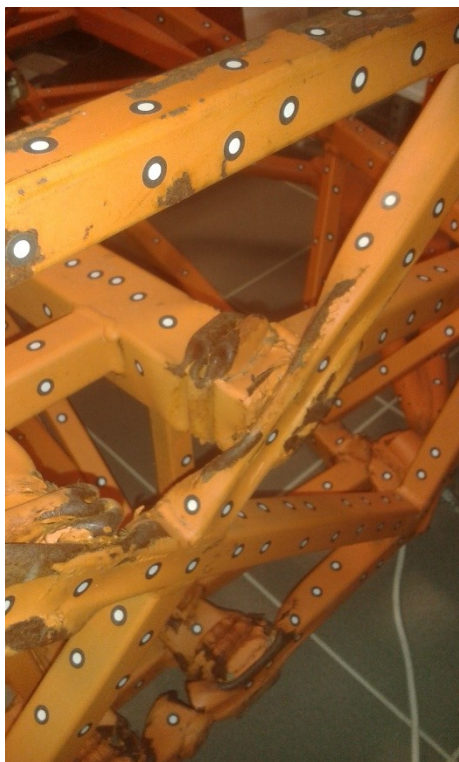
Oproti předchozímu vykreslení v Artec Studio 10 se podařilo mapu vykreslit i na částech přední části ráku. Z tohoto hlediska si myslím, že tento software je pro náš případ vhodnější. A to i díky většímu množství nastavitelných a zobrazovaných parametrů z měření. Jako přesnější metodu proložení bych v našem případě zvolil tu pomocí n bodů. Důvodem je velká tvarová složitost ráku, kde si software v metodě zarovnání podle

nejmenší odchylky musí mnoho informací dopočíst automaticky. Naopak při porovnání pomocí n bodů, v případě že jsme si jistí jejich shodnou vzájemnou polohou, se tak neděje.

Maximální odchylka na rámu byla vypočítána na sto osmdesát milimetrů a průměrná odchylka na přibližně třicet čtyři milimetrů. Software dále umožňuje z porovnání vytvořit zprávu.

3.8. Zhodnocení deformace nosníků

Rám automobilu SCX absolvoval crash test v rychlosti padesát kilometrů za hodinu. Jednalo se o přímý, čelní náraz do statické stěny. Celý test dopadl i přes velkou hmotnost zkoušeného rámu poměrně uspokojivě. Většinu energie pohltila přední část. Z toho také vyplývá největší plastická deformace (*Obr. 24 a*) právě v této přední části. Energie působící na nosníky způsobila jejich vychýlení do stran a lom některých ze svarů, které neudržely velký a okamžitý nárůst napětí. Naopak ve střední (*Obr. 24 b*) a zadní části se převážně jednalo o deformaci elastickou. Nosníky se zde hnuly jen minimálně a to díky dobré tuhosti rámu a absorpci energie předními nosníky. Dále zde nebyly nalezeny již žádné praskliny ve svarech nebo nosnících.



Obr. 18 a) – Ukázka plastické deformace



Obr. 18 b) – Ukázka elastické deformace

4. SHRNUÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ

Skenování tvarově složitých dílů je jednou z nedílných součástí skenování obecně. Pro kvalitní provedení je zapotřebí dostatečně pečlivá příprava. Skenovaný objekt musí projít fází očištění a polepení dostačujícím počtem značek. Ty je třeba nalepit v dostatečném množství dle předchozích zkušeností. V případě že se jedná o objekt s malou plochou v jedné rovině, počet značek je třeba zvýšit. Příklad může být boční profil střechy rámu automobilu SCX. Zde jich byl pro kvalitní provedení skenování použit až dvojnásobný počet oproti jiným částem. Další problém může nastat při tvoření mraku bodů z fotografií pomocí ScanReference. Zde je potřeba zmínit, že aby byl bod zaměřen a zobrazen, musí se objevit minimálně na třech fotografiích. Proto je dobré nešetřit s počtem fotografií a raději jich udělat více z různých směrů a pohledů. Při následném skenování tak předejdeme hluchým místům, které se nám pro nedostatečný počet bodů nepovede naskenovat. V případě samotného procesu skenování tvarově složitých a rozměrově velkých dílů je třeba počítat s velkou náročností na operační paměť počítače. Proto je lepší systém nezahltit zpracováním dat po dlouhém skenování, ale skenovat po menších částech. Systém si dokáže jednotlivé skeny spojit dohromady.

Výsledek skenování rámu SCX dopadl poměrně hůře, než se čekalo. Tvarová složitost rámu byla velká a dostupnost skeneru do všech částí omezená. Proto se v přední a zadní části podařilo naskenovat jen obě boční a horní plochy profilů. Střední část byla z hlediska dostupnosti nejhorší. Nevýhodou také byla špatná mobilita rámu. Spodní část nebylo možno naskenovat díky váze přesahující jednu tunu. Po ukončení skenování nebyly výsledná data vhodná pro další aplikace. Důvodem byly špatně naskenované profily s velkými nedostatky a chybami povrchu. Proto bylo rozhodnuto veškeré naskenované profily proložit profily novými za pomoci pluginu v CAD softwaru CATIA V5R21. Zde již nenastal žádný problém a byl vytvořen nový rám, který kopíroval skenovaný a odstranil jeho nedostatky. Nastavbou poté bylo proložení původního a vytvořeného rámu. Výsledkem byly porovnávací snímky a porovnávací mapa s odchylkami.

ZÁVĚR

Myslím si, že ve 3D skenování je velký potenciál. Je to obor, který se neustále rozvíjí a přináší stále nové aplikace. Jednou z nich může být také skenování tvarově složitých součástí. Je to oblast, která si zasluhuje pozornost a to díky svým specifickým požadavkům na samotný proces a přípravu skenování. Využití vidím právě v porovnávání dvou objektů nebo při reverzním inženýrství, kdy dostupnými měřidly nejsme schopni zachytit potřebné křivky nebo úhly součástí. Jako nevýhodu této aplikace pak můžu zmínit například velkou časovou náročnost přípravy součástí. Zde se můžeme pohybovat až v rozmezí desítek hodin. A to je oproti běžnému skenování tvarově méně složitých součástí velký rozdíl. Nicméně si myslím, že vývoj 3D skenování půjde díky své rozmanitosti využití stále kupředu a tento nedostatek se podaří zmírnit, ne-li odstranit.

POUŽITÉ ZDROJE

- [1] - TIŠNOVSKÝ, Pavel. Metody bezkontaktní digitalizace povrchů reálných předmětů. *Elektrorevue* [online]. 2003, : 2 [cit. 2016-01-04]. Dostupné z: http://www.elektrorevue.cz/clanky/03013/kap_2.htm
- [2] - GRATZA, Patrik. *Porovnání technologií pro 3D skenování*. Ostrava, 2015. Bakalářská práce. VŠB-TUO. Vedoucí práce Ing. Vladimír Zbožínek.
- [3] - NAVRÁTIL, Ing. Robert. *3D skenery* [online]. 2000 [cit. 2016-01-04]. Dostupné z: <http://robo.hyperlink.cz/3dskenery/main07.html>
- [4] - *Kontrola součástí pomocí metod reverzního inženýrství* [online]. Brno, 2008 [cit. 2016-01-04]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studium/zaverecne-prace?action=detail&zp_id=12989&rok=&typ=&jazyk=&text=kontrola+sou%C4%8D%C3%A1st%C3%AD+pomoc%C3%AD+metod+reverzn%C3%ADho+in%C5%BEen%C3%BDrs&hl_klic_slova=1&hl_abstrakt=0&hl_nazev=1&hl_autor=0&str=1. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [5] - NAVRÁTIL, Ing. Robert. *3D skenery* [online]. 2000 [cit. 2016-01-04]. Dostupné z: <http://robo.hyperlink.cz/3dskenery/main04.html>
- [6] - *Cross Sectional Scanning* [online]. Batia, 2012 [cit. 2016-01-04]. Dostupné z: <http://www.gaspardo.com/images/Re1000.jpg>
- [7] - KLABOUC, Jaroslav. Souřadnicové měřicí stroje pro výrobní provozy. *MM průmyslové spektrum* [online]. : 2 [cit. 2016-01-04]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/souradnicove-merici-stroje-pro-vyrobn-provozy.html>
- [8] - MARTINA, Vašíková. *Rekonstrukce 3D ploch kapotáže motocyklu na základě skenovaných dat* [online]. Brno, 2010 [cit. 2016-01-04]. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/handle/11012/16415>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. David Paloušek, Ph.D.
- [9] - URBÁNEK, Aleš. *Kontrola součástí pomocí metod reverzního inženýrství* [online]. Brno, 2008 [cit. 2016-01-18]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studium/zaverecne-prace?action=detail&zp_id=12989&fid=&rok=&typ=&jazyk=&text=ale%C5%A1+urb%C3%A1nek&hl_klic_slova=0&hl_abstrakt=0&hl_nazev=0&hl_autor=1&str=1. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Jan Zouhar.

- [10] - CHREN, Tibor. *Optické scanovací systémy* [online]. Brno, 2008 [cit. 2016-01-18]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studium/zaverecne-prace?action=detail&zp_id=12628&fid=&rok=&typ=&jazyk=&text=Tibor+chren&hl_klic_slova=0&hl_abstrakt=0&hl_nazev=0&hl_autor=1&str=1. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Daniel Koutný.
- [11] - TECHNICKÁ UNIVERZITA LIBEREC, Katedra oděvnictví. *Skenování povrchu lidského těla a jeho aplikace* [online]. 2009, , 20 [cit. 2016-02-01]. Dostupné z: http://www.kod.tul.cz/info_predmety/KPC/dokumenty/07_prednaska.pdf
- [12] - TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI, Katedra výrobních systémů. *Souřadnicové měřicí stroje* [online]. 2011, , 72 [cit. 2016-02-01]. Dostupné z: http://www.kvs.tul.cz/download/rapid_prototyping/rpl_skripta.pdf
- [13] - PRIMA BILAVČÍK, S.R.O. *Souřadnicový měřicí stroj se senzorem pro počítačovou tomografii a 3D měření* [online]. 2014, , 1 [cit. 2016-02-01]. Dostupné z: <http://www.merici-pristroje.cz/3d-skenery-0/>
- [14] - ČVUT V PRAZE, Katedra geomatiky, Laboratoř fotogrammetrie. *3D laserové skenování - teorie* [online]. 2012, , 7 [cit. 2016-02-01]. Dostupné z: <http://lfgm.fsv.cvut.cz/data/vvt/s1/laserteorie3d.pdf>
- [15] - DIRECT INDUSTRY. *Go!SCAN 3D* [online]. 2016, , 1 [cit. 2016-02-01]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/creaform/product-54710-951221.html>
- [16] - DFK CAB, S.R.O. *HandyScan 3D: 3D skenování* [online]. 2013, , 1 [cit. 2016-02-01]. Dostupné z: <http://www.dfk.cz/3d-skenovani.html>
- [17] - MAČÁK, Josef. *Optický skener v průmyslové praxi* [online]. 2016, , 1 [cit. 2016-02-01]. Dostupné z: <http://m.mmspektrum.com/clanek/opticky-skener-v-prumyslove-praxi>
- [18] - ŠANOVEC, CSC., Doc. Ing. Jan a Ing. Vladimír KÖRBER. *Automatická analýza jakosti výlisků* [online]. 2013 [cit. 2016-02-01]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/automaticka-analyza-jakosti-vylisku.html>
- [19] - SKENOVÁNÍ VE 3D. *3D skenery si „zahrály“ v novém Terminátorovi* [online]. 2015 [cit. 2016-02-01]. Dostupné z: <http://www.skenovani3d.cz/aktuality/3d-skenery-si-zahraly-v-novem-terminatorovi/>

[20] - PAVELKA, Doc. Dr. Ing. Karel a Ing. Jan ŘEZNÍČEK. *Optický 3D skener* [online]. Telč, 2007 [cit. 2016-02-01]. Dostupné z: http://lfgm.fsv.cvut.cz/data/v_zamer/reznicek2.pdf. Workshop fotogrametrie. ČVUT, Fakulta stavební, Laboratoř fotogrametrie.

[21] - NOSEK, Vojtěch. *SROVNÁNÍ MOŽNOSTÍ 3D FOTOGRAMMETRIE A 3D SCANNERU PŘI DOKUMENTACI ARCHEOLOGICKÝCH ARTEFAKTŮ* [online]. Brno, 2014 [cit. 2016-02-01]. Dostupné z: http://is.muni.cz/th/330862/ff_m/nosek_DP_330862.pdf. Magisterská diplomová práce. Masarykova Univerzita. Vedoucí práce Mgr. Dagmar Vachůtová, Ph.D.

[22] - NIKON. *Specifikace Nikon D3100* [online]. 2016 [cit. 2016-02-01]. Dostupné z: <http://digitalni-fotoaparaty.heureka.cz/nikon-d3100/specifikace/#section>